

황해 난류수 유입과 기후 변화에 따른 황해 난수성 동식물플랑크톤 분포 동태

The effects of climate change and the input of Yellow Sea Warm Current on the distribution of warm water plankton in the Yellow Sea

주관연구기관	인하대학교 산학협력단
연구책임자	최종기
발행년월	2013-07
주관부처	교육과학기술부
사업관리기관	한국연구재단
NDSL URL	http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO201400007683
IP/ID	14.49.138.138
이용시간	2017/11/06 15:15:53

저작권 안내

- ① NDSL에서 제공하는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, KISTI는 복제/배포/전송권을 확보하고 있습니다.
- ② NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 상업적 및 기타 영리목적으로 복제/배포/전송할 경우 사전에 KISTI의 허락을 받아야 합니다.
- ③ NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 보도, 비평, 교육, 연구 등을 위하여 정당한 범위 안에서 공정한 관행에 합치되게 인용할 수 있습니다.
- ④ NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 무단 복제, 전송, 배포 기타 저작권법에 위반되는 방법으로 이용할 경우 저작권법 제136조에 따라 5년 이하의 징역 또는 5천만 원 이하의 벌금에 처해질 수 있습니다.

일반연구자지원사업 최종(결과)보고서

							양식A101	
① 부처사업명(대)	기초연구사업			보안등급(보안, 일반)		일반		
② 사업명(중)	일반연구자지원사업			공개가능여부(공개, 비공개)		공개		
③ 세부사업명(소)	기본연구- 유형1							
④ 과제성격(기초, 응용, 개발)	기초	④-1 실용화 대상여부(실용화, 비실용화)						
⑤ 과제명	국문	황해 난류수 유입과 기후 변화에 따른 황해 난수성 동식물플랑크톤 분포 동태						
	영문	The effects of climate change and the input of Yellow Sea Warm Current on the distribution of warm water plankton in the Yellow Sea						
⑥ 주관연구기관	인하대학교 산학협력단							
⑦ 협동연구기관								
⑧ 주관연구책임자	성명	최 중 기		직급(직위)	교수			
	소속부서	생명해양과학부		전공	해양생태학			
⑨ 연구개발비 및 참여연구원수 (단위: 천원, M·Y)								
년도	정부출연금(A)	기업체부담금			정부의 출연금(B)	상대국 부담금(F)	합계 G=(A+B+E)	참여 연구원수
		현금(C)	현물(D)	소계 E=(C+D)				
1차년도	59844			0			59,844	
2차년도	59999			0			59,999	
3차년도	59999			0			59,999	
4차년도				0			0	
5차년도				0			0	
합계	179,842	0	0	0	0	0	179,842	0
⑩ 총연구기간	2010. 05. 01 ~ 2013. 04. 30 (36개월)							
⑪ 다년도협약연구기간	기재하지 않음							
⑫ 당해연도연구기간	2012. 05. 01 ~ 2013. 04. 30(12개월)							
⑬ 참여기업	중소기업수		대기업수		기타		계	
								0
⑭ 국제공동연구	상대국연구기관수		상대국연구개발비		상대국연구책임자수			
<p>관계 규정과 모든 지시사항을 준수하면서 국가연구개발사업에 따라 수행 중인 연구개발과제의 최종보고서를 붙임과 같이 제출 합니다.</p> <p style="text-align: center;">2013 년 7 월 25 일</p> <p style="text-align: center;">주관연구책임자 : 최 중 기</p> <p style="text-align: center;">주관연구기관장 : 박 춘 배</p> <p style="text-align: center;">교육과학기술부장관 귀하</p>								

※ 전자접수이므로 주관연구책임자 및 주관연구기관장 서명(인, 직인)은 생략

【주요항목 작성요령】

- ①, 부처사업명(대), ② 사업명(중), 보안등급(일반), 공개가능여부(공개)는 수정하지 않음
- ③ 세부사업명(소)은 기본연구(유형 I), 기본연구(개인), 기본연구(모험), 기본연구(커리어), 신진연구, 신진연구(연구비), 신진연구(연구장비), 여성과학자, 지역대학우수과학자 중 택일
- ④ 과제성격 및 ④-1 실용화 대상여부는 수정하지 않음
- ⑤ 과제명은 당초 연구과제명(과제명 변경을 재단에서 승인받은 경우는 승인된 과제명)을 기재함
- ⑥ 주관연구기관은 한국업적통합정보(KRI)에 입력된 기관명과 동일해야 하며 약어를 사용하지 않음(서울대→서울대학교)
- ⑦ 협동연구기관은 본 사업과 관련이 없으므로 기재하지 않음
- ⑧ 연구책임자의 인적사항 기재
- ⑨ 정부출연금은 전체연구기간동안 기 지원받은 연도별 총 연구비(간접비 포함)를 기재하며, 참여연구원은 연구책임자를 제외한 참여 연구인력(연구보조원 포함) 인원수를 기재함
- ⑩ 총연구기간은 연구시작일부터 연구종료일까지의 총연구기간 및 개월 수를 기재함
⇒ 아래의 연구기간 적용안내 참조
- ⑪,⑫,⑬,⑭는 기재하지 않음

「일반연구자지원사업 연구기간 적용 안내」

선정연도	연구기간	총 연구기간	다년도 협약기간	당해연도 연구기간	비고
2010년	36개월	2010.05.01~2013.04.30	기재하지 않음	기입력(수정하지 않음)	
2011년	24개월	2011.05.01~2013.04.30	기재하지 않음	기입력(수정하지 않음)	
2012년	12개월	2012.05.01~2013.04.30	기재하지 않음	기입력(수정하지 않음)	

< 목 차 >

I. 연구결과 요약문

II. 연구내용 및 결과

1. 연구과제의 개요
2. 국내·외 기술개발 현황
3. 연구수행 내용 및 결과
4. 목표 달성도 및 관련 분야에의 기여도
5. 연구결과의 활용 계획
6. 연구과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

III. 연구성과

I. 연구결과 요약문

황해의 수괴 분포에서 물리적으로 가장 논란이 되고 있는 황해 난류수의 존재 및 그 영향 범위를 파악하고, 황해 내에서 지구 온난화에 따른 기후변화가 황해 생태계에서 어떤 영향을 미치었는지 파악하기 위하여 황해 난류수의 기원지역인 동중국해 쿠로시오 영향수역과 황해 남부지역에서 1992년부터 1994년 까지 조사한 자료와 2008년, 2009년 2011년 2012년 황해와 동중국해에서 조사를 실시하여 새로운 자료를 추가하였다. 또한 기후변화와 부영양화에 따른 해양 생태계 기본 변화를 파악하기 위하여 경기만의 1990-2000년대 장기변화 자료를 비교 분석하였다. 그 결과

1. 황해와 동중국해에서 발견된 쿠로시오 지표 식물플랑크톤은 총 44종으로 황해 남부수역에서 12월에 10종, 2월에 3종, 6월에 1종이 발견되었고 9-10월에서 황해 전역에서 2~9종이 발견되었다. 쿠로시오 지표 난수성 동물플랑크톤은 12종이 발견되었고, 이들은 6월에 전체동물플랑크톤 양의 5.0%, 8월에 7.3%, 10월에 8.8%, 1월에 6.7%를 차지하였으나 춘계에는 발견되지 않았다. 황해와 동중국해에서 발견된 유충섬모충 중 8종이 외양성 난수종으로 이중 2종이 제주 서방 황해수역에서 발견되었다.
2. 그러나 목포 서방 34°N선에서는 유충섬모충류의 난수성 외양종이 발견 안되었고, 쿠로시오 수계의 대표적인 극미소 플랑크톤인 *Prochlorococcus*가 제주도 남동부 해역에 제한적으로 출현하고 있다.
3. 쿠로시오 지표종인 모악류 *Sagitta enflata*에 대한 CO₁ 분석결과 동중국해-황해-남해군, 동중국해-남해-대마난류군, 황해남부-남해연안군의 세 그룹으로 분리되었고, 이들은 각각 황해난류 개체군, 쿠로시오-대마난류 개체군, 동중국해-제주해류 개체군으로 구분되었다.
4. 황해 경기만을 대상으로 한 기후변동과 부영양화에 따른 동식물플랑크톤의 계절별 분포를 분석한 결과, 온난화에 따른 수온 상승과 풍속감소로 봄,여름이 길어지고 겨울이 짧아지면서 동계에 대증식이 일어나고 우점종이 교체 되었으며, 동물플랑크톤의 생활주기가 변화하였다. 하계에는 부영양화로 하계 대증식이 일어나고, 미소형 식물플랑크톤이 우점하는 것으로 나타났다. 이러한 영향은 황해연안에 전반적으로 일어난 것으로 보인다.
5. 황해 동부수역에 하계에 성층수역과 냉수괴 형성으로 연안쪽의 혼합수역과 성층수역 사이에 전선수역이 형성되었고, 이들 수역에 우점하는 식물플랑크톤 크기 구조가 달라 이에 따라 미세생물 먹이망 구조도 서로 다른 것이 발견되었다.

이상과 같은 연구를 통하여 황해는 계절적으로 황해 난류수의 유입에 의한 영향을 받고, 동계에 형성된 저층 냉수괴로 성층수역, 전선수역, 연안혼합수역이 구분되어 독특한 미세생물먹이망을 구성하고, 기후변화와 육지로부터 유입된 부영양물질의 영향을 받아 복잡한 생태구조를 이루고 있음을 알수 있다.

II. 연구내용 및 결과

- ◎ 1. 연구과제의 개요 ~ 6 기타사항을 항목에 따라 작성함
- ◎ 제목 14point, 소제목 12point, 본문내용은 10point로 작성하며, 줄 간 간격은 조정 가능함
- ◎ 내용 작성과 관련한 설명내용(청색 박스로 표시된 부분)은 내용 작성 시 제거하고 기술함

※ II. 연구내용 및 결과의 작성분량은 3페이지 내외로 핵심내용 중심으로 간결하게 작성함

1. 연구과제의 개요

황해는 연안의 강한 조류에 의한 수괴의 혼합과 동계에 강한 북서풍과 차가운 기온에 의한 표저층의 대류 혼합, 하계에 저층에 존재하는 냉수괴, 수온약층에 의한 성층수역, 혼합수역과 성층수역 사이에 형성되는 전선수역 형성 등으로 복잡한 수괴를 이루고 있다. 또한 쿠로시오 해류의 영향을 받는 동중국해와 연접하여 난류수의 영향을 받으며, 기후 변화에 의한 영향과 육지로부터 유입된 영양물질에 의한 영향을 받을 수 있다. 이러한 복잡한 황해 생태계의 기본 특성을 이해하기 위하여 쿠로시오 유래 황해 난류수의 계절적인 형성과 영향, 황해 동부의 식물플랑크톤 군집의 변화, 황해 동부에 계절적으로 형성되는 성층수역, 전선수역, 혼합수역, 저층 냉수괴 등의 생태적인 특성과 미세생물먹이망의 구조등을 알아야 한다. 본 연구는 쿠로시오 지표층들을 이용한 황해 난류수의 유입과 쿠로시오 해류의 영향을 파악하고자 하였고, 황해의 수괴분포와 식물플랑크톤 분포를 통하여 황해의 기초 생태특성을 이해하고자 하였으며, 계절적으로 형성되는 성층수역과 전선수역, 혼합수역의 미세생물먹이망 구조 분석을 통하여 황해의 중간 먹이단계인 중형동물플랑크톤으로 전달되는 생물량 먹이 구조를 파악하고자 하였다. 또한 이러한 황해 해양 생태계가 최근에 그 영향이 확대되어 있는 기후변화 시나리오와 부영양화에 의해 어떻게 영향받고 변화하는 가를 장기자료 분석을 통하여 이해하고자 하였다.

2. 국내외 기술개발 현황

황해에 황해 난류수의 유입에 대하여는 많은 연구자들이 이에 대한 연구를 하여왔다. 중국측 연구자들(Le and Mao,1990; Xie et al.,2002; Tang et al., 2001; Ma et al., 2006)과 일본측 연구자들(Chang and Isobe, 2003; Yanagi and Takahashi, 1993)은 현장 조사와 모델을 이용하여 황해난류수의 계절적 황해유입을 주장하였고, 우리나라의 해양연구원 연구자들(Lie 등,1998,2001)은 현장관측을 통하여 황해난류수의 유입은 없는 것으로 분석하였다. 그러나 Pang and Hyun(1998) 등과 일부 생물학자들(Choi,1985; Guo and Zhang, 1996; Noh,1995; 황과 최,1993; Zhang,1995)은 황해 난류수의 존재를 주장하여 황해난류수의 존재가 물리학적으로나 생물학적으로 많은 논란의 대상이 되고 있다. 이러한 난류수의 유입에 의한 황해 생태계 영향을 황해의 중국 쪽 생태연구(Li et al., 2007)나 우리나라 생태연구 (이 등,2012)에서도 언급되고 있으나 이에 대한 정확한 증명방법이 현재까지 제시되지 못하고 있다. 황해의 생태계 기본연구와 식물플랑크톤 생태 특성에 관하여는

Chang,1990;Choi,1991, Noh,1995, Choi 등,1995에 의해 보고된바 있으나 최근분석방법에 의한 연구보고는 많지 않으며(이 등,2012), 더구나 황해에서의 종속영양 미세생물에 의한 미세생물 먹이망 구조는 경기만(양 등, 2008)에 국한 되어있다. 전 세계적으로도 조석전선 형성 수역에서의 미세생물 먹이망 구조 연구는 많지 않다 (Mantagne et al.,1999). 기후변화와 부영양화에 의한 식물플랑크톤 생태영향은 주로 기후변화 또는 부영양화 각각의 경우로 구분되어 연구되고 있고, 황해와 같이 기후변화와 부영양화에 의한 영향을 함께 받는 수역에서의 영향과 그 반응에 따른 식물플랑크톤 생태변화 연구는 많지 않다.

3. 연구수행 내용 및 결과

1) 황해 난류수의 존재 및 유입영향 범의를 밝히기 위하여 쿠로시오 지표중 목록 작성 및 계절별 출현상태를 분석하고, 쿠로시오 지표중개체군의 크기를 분석하고자 1992년 9-10월 인하대 조사,1993년 2월과 12월에 한국 해양연구원의 COPEX조사,1994년 4월과 6월에 교통부 수로국 조사에서 시료를 채집하여 자료(노,1995)를 분석하였다. 또한 2008년 6월, 8월 10월, 2009년 6월, 2011년 가을, 2012년 8월에 국립수산과학원 정선 조사에 참여하여 동식물플랑크톤, 부유원생동물 시료를 채집하고 분석하였다.

그 결과 황해 남부수역에서 난수성 식물플랑크톤 44종 쿠로시오 지표동물플랑크톤 12종, 부유원생동물 중 외양성 난수종 8종을 발견하였고, 그 중 난수성 식물플랑크톤 10종이 황해 남부수역인 34°N 선의 동측 수역에서 12월에 발견되었고, 3종이 34°N선의 중앙부에서 2월에 발견되었다. 그러나 4월에는 34°N 선에서 난수종이 전연 발견되지 않았고, 6월에 1종이 발견되었다. 9-10월에는 황해 전역에서 9종이 발견되어 37°N선에서도 2종이 발견되어 난류수의 영향이 황해 중부까지 미침을 알 수 있었다. 부유 원생동물 중 난수 외양성 유종 섬모충류는 추계에 33° 30' N 상에서만 2종 발견되었다. 쿠로시오 지표 동물플랑크톤은 동중국해와 황해 남부에서 6월에 전체 동물플랑크톤 현존량의 약 5.0%를 차지하였고, 8월에는 7.3%, 10월에는 8.8%, 1월에는 6.7%를 차지하였으나 춘계에는 황해남부수역에서 발견되지 않았다. 이상의 결과로 볼 때 황해 난류수가 6월경부터 형성되어 가을에 가장 왕성하게 발달되어 황해 중부까지 영향을 미치고, 2월까지 황해 남부에서 지속되다 춘계에 소멸되는 것으로 보인다.

2) 쿠로시오 해류의 황해 난류수에의 영향정도를 파악하기 위하여 고온고염에 출현하는 쿠로시오 지표 극미소 식물플랑크톤 *Prochlorococcus*의 추계분포를 분석한 결과 제주 동남방과 대마난류수계에만 분포하고 있어 쿠로시오 해류의 황해의 직접적인 영향은 없는 것으로 나타났다. 또한 쿠로시오 해류의 중요 지표종으로 알려진 모악류 *Sagitta enflata*에 대한 개체군 유전자 분석을 위하여 microsatellite 방법과 CO₁ 분석을 수행하였으나, microsatellite분석은 분석비용 부족으로 완결을 못하고 대신 CO₁ 분석으로 대체하였다. CO₁분석결과 황해와 동중국해, 남해에 출현하는 *Sagitta enflata* 개체군은 3개 그룹으로 A 그룹은 황해, 남해, 동중국해 모두 출현하였고, B 그룹은 동중국해 동부, 남해 북부, 대마난류 수계에서만 발견되었으며, C 그룹은 황해 남부와 남해

에서만 발견되었다. 이런 결과는 쿠로시오 해류에서 출현한 쿠로시오 지표층은 고온고염성인 대마난류수계에 만 분포하고, 제주해류수역엔 C그룹과 A그룹이, 황해난류수계엔 A그룹과 C그룹이 같이 분포하는 것으로 보인다. 이중 A 그룹은 쿠로시오 기원 광엽광온성 종으로 황해, 동중국해, 남해에 모두 분포하나 동중국해에서 쿠로시오 수계가 약화되는 춘계에는 황해에서 발견되지 않았다.

3) 황해 동부의 수괴 분석을 위하여 2009년 하계에 물리화학환경자료 분석, 미소형 및 소형 식물플랑크톤 군집분석, 극미소 식물플랑크톤, 식물플랑크톤의 크기별 엽록소-a의 농도와 식물플랑크톤 색소를 분석한 결과 조석전선이 형성되고, 흑산도 인근해역에서는 난류수의 유입에 의하여 연안 용승이 일어나는 것으로 분석되었다. 이들 자료에 의한 유사도 분석결과는 황해 동부해역을 연안혼합수역, 안마도 용승해역, 조석전선 전이수역, 서해 중앙 성층수역으로 구분되었다, 연안수역은 소형규조류, 황갈조류, 와편모류, 미소형편모류 등에 의해 현존량이 높게 우점하였다. 용승해역은 저서규조류 미소형 편모조류, *Synechococcus* 등에 의해 우점되고, 조석전선 전이수역은 미소편모류, *Synechococcus*가 우점하였고, 황해 중앙 성층해역은 표층에서는 *Synechococcus* 저층에서는 규조류가 우점하는 것으로 나타났다.

4) 황해 동부 수역에서의 2012년 8월 조사에서도 2009년 6월 조사와 유사하게 소형 식물플랑크톤에 의한 높은 현존량을 보이는 연안혼합수역, 미소형 식물플랑크톤에 의한 최대 현존량을 보이는 조석 전선수역, 극미소 플랑크톤에 의한 낮은 생물량을 갖는 성층수역으로 구분되었다. 이러한 생태적인 기본구조에 의해 연안혼합수역에서는 식물플랑크톤-동물플랑크톤으로 이어지는 먹이 연쇄와 미세생물먹이망이 동시에 작용하고, 조석전선수역에서는 미소형식물플랑크톤과 박테리아를 포식하는 미세생물 먹이망이 우세하여 중앙 성층수역에서는 극미소 식물플랑크톤, 박테리아, 종속 영양편모류, 섬모충으로 이어지는 미세생물 먹이망이 주로 작용하는 것으로 나타났다. 황해 남부 난류수 유입 수역도 유사한 경향을 나타내었다.

5) 황해에서 지구 온난화에 의한 수온 상승과 육상으로 부터의 영양염의 다량 배출에 의한 부유생태계 영향 정도를 파악하기 위하여 황해에서 수온과 영양염에 대한 장기자료와 동·식물플랑크톤에 대한 장기자료가 축적된 경기만을 대상으로 물리·화학적 환경요인 자료와 본 연구실을 중심으로 생산한 동·식물플랑크톤 정량자료를 분석하였다. 그 결과 경기만의 수온은 1960-2009년 사이에 겨울철은 2.25℃, 여름철은 0.5℃ 상승하였고, 표층 수온은 1964년 이래 평균1.37℃ 상승하였다. 또한 연간 풍속평균은 1970년대 이래 23%감소하였다. 영양염(DIN)은 시기별로 대량증가 경향, 엽록소 양은 1990년대 초반에 비해 2배로 증가하였다. 기온 상승 및 수온상승과 풍속 감소로 동계 기간이 짧아지고 봄과 여름의 기간이 길어져 춘계에 일어나던 식물플랑크톤 대증식이 동계에 일어나고, 동계에 우점하던 저서성 규조류가 부유성 규조류인 *Thalassiosira nordenskioldii*로 바뀌었다. 한편 하계에 강우량 증가와 영양염 유입 증가로 하계에 미소 식물플랑크톤의 대증식으로 부영양화가 가중되고 있다. 2000년대 이전 6월에 최대현존량을 보이던 동물플랑크톤은 2월의 수온상승 및 식물플랑크톤 대증식에 따라 4월에 최대 현존량을 보이고 있으며, 춘계에 다양한 종조성을 보이던 군집의 요각류 *Acartia hongii*

와 와편모류 *Noctiluca scintillans*가 우점하는 군집으로 변화였다.

참고문헌

- Chang, M., 1990. The ecological study of phytoplankton in the Yellow Sea. Seoul National University PhD thesis, Seoul, Korea.
- Chang, P.H., Isobe, A., 2003. A numerical study on the Changjiang diluted water in the Yellow and East China Seas, J. Geophys. Res. 108(C9), 3299, doi:10.1029/2002JC001749.
- Choi, J.K., 1985. The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay, Korea. Seoul National University PhD thesis, Seoul, Korea.
- Choi, J.K., 1990. A checklist of marine tychopelagic and benthic diatoms in Korea. Kor. J. Phycol. 5(1), 73-116.
- Guo, Y.J., Zhang, Y.S., 1996. Characteristics of phytoplankton distribution in the Yellow Sea. The Yellow Sea 2(1), 90-103.
- Hwang, H.J., Choi, J.K., 1993. Seasonal characteristics of zooplankton community in the mid-eastern part of the Yellow Sea. J. Oceanol. Soc. Korea 28(1), 24-34.
- Le, K., Mao, H., 1990. Wintertime structures of temperature and salinity of the southern Huanghai (Yellow Sea) and its current systems. Oceanol. Limnol. Sin. 21(6),505-515 (in Chinese with English abstract).
- Lee, J.B., Kim, H.S., Kim, S.H., Lee, J.H., 2008. First evidence of tropical dinoflagellates to Jeju island, Korea, in: Ocean warming or Kuroshio-mediated transport? Proceedings of the academic meeting of Korean Ocean Science and Technology Association, Jeju, Korea, p. 462.
- Lee, Y.J., Choi, J.K., Shon, J.K., 2012. Phytoplankton Distribution in the Eastern Part of the Yellow Sea by the Formation of Tidal Front and Upwelling during Summer. Ocean Polar Res. 34(2), 111-123.
- Lie, H.J., Cho, C.H., Lee, J.H., Niiler, P., Hu, J.H., 1998. Separation of the Kuroshio and its penetration onto the continental shelf west of Kyushu. J. Geophys. Res. 103(C2), 2963-2976.
- Lie, H.J., Cho, C.H., Lee, J.H., Lee, S., 2001. Does the Yellow Sea Warm Current really exist as a persistent mean flow? J. Geophys. Res. 106(C10), 22,199 - 22,210.
- Ma, J., Qiao, F., Xia, C., Kim, C.S., 2006. Effects of the Yellow Sea Warm Current on the winter temperature distribution in a numerical model. J. Geophys. Res. 111, C11S04, doi:10.1029/2005JC003171.
- Noh, J.H., 1995. A study on the phytoplankton distribution in the Yellow Sea and the East China Sea. Inha University Master thesis, Incheon, Korea (in Korean).
- Pang, I.C., Hyun, K.H., 1998. Seasonal variation of water mass distributions in the eastern Yellow Sea and the distributions in the eastern Yellow Sea and the Yellow Sea Warm Current. J. Kor. Soc. Oceanogr. 33(3), 41-52.
- Tang, Y., Zou, E., Lie, H.J., 2001. On the origin and path of the Huanghai Warm Current during winter and early spring. Acta Oceanol. Sin. 23(1), 1-12 (in Chinese with English abstract).
- Xie, S.P., Hafner, J., Tanimoto, Y., Liu, W.T., Tokinaga, H., Xu, H., 2002. Bathymetric effects on the winter sea surface temperature and climate of the Yellow Sea and East China Seas, Geophys. Res. Lett. 29(24), 2228, doi: 10. 1029/2002GL015884.
- Yanagi, T., Takahashi, S., 1993. Seasonal variation of the circulations in the East China Sea and the Yellow Sea. J. Oceanogr. 49, 503-520.
- Yang E.J., Choi J.K., and Hyun J.H., 2008. Seasonal variation in the community and size structure of nano- and microzooplankton in Gyeonggi Bay, Yellow Sea. Estuar. Coast. Shelf Sci., 77, 320-330.
- Zhang, H.Q., 1995. Relationship between zooplankton distribution and hydrographic characteristics of southern Yellow Sea. The Yellow Sea 1, 50-67.

4. 목표 달성도 및 관련 분야에의 기여도

연도	연구목표	달성도 (%)	관련분야 기여도
2010	1. 황해 및 동중국해 수역에서 쿠로시오 지표종 분리 및 군집에 기여도 분석	90	황해 난류수의 존재 및 황해유입양상을 파악
	2. 동중국해 및 황해 남부수역에서 <i>Prochlorococcus</i> 의 동태와 수괴특성 비료	90	고온고염에 출현하는 <i>Prochlorococcus</i> 는 쿠로시오 분류 지표종으로 대마난류수괴에만 출현
	3. 동중국해 북부 황해수역에서 식물플랑크톤 색소를 HPLC로 분석 수괴별 군집구조 특성 분석	100	하계에 황해는 연안혼합수역, 조석전선수역, 성층수역으로 구분되고, 각 수역별로 식물플랑크톤 조성에 차이를 보임
	4. 쿠로시오 지표 <i>Sagitta enflata</i> 개체군 분석을 위하여 microsatellite 개발	70	황해와 동중국해에서 채집한 <i>Sagitta enflata</i> 의 부위별 primer 제작 시도
2011	1. 황해 남부와 황해 동부수역에서 채집한 동식물플랑크톤을 대상으로 계절별로 분석하여 쿠로시오 지표종의 황해에서의 시공간적 분포 패턴을 밝힘	100	황해에서 출현한 동식물플랑크톤을 계절별로 분석한 결과 하계에 출현하기 시작하여 추계에 가장 우세하고, 동계까지 출현하다 춘계에 소멸, 쿠로시오 해류의 영향정도를 계절별로 보여줌
	2. 황해에서 채집한 <i>Sagitta enflata</i> 개체군과 쿠로시오 지표 <i>S. enflata</i> 개체군의 분자 생물학적 유사도를 비교	70	한반도 주변에서 출현한 <i>S. enflata</i> 의 형태 특성을 분석하고 primer 제작 비교. 유사 microsatellite 분석
	3. 황해난류수괴의 물리특성과 동식물플랑크톤 분포 특성을 비교, 황해난류수괴 지표종을 추출	80	난류수 지표종으로 동중국해에서 규조류 4종, 와편모조류 2종, 남세균 2종을 추출
2012	1. 황해 중남부수역에서 하계에 성층수역, 전선수역, 연안수역의 환경요인과 동식물플랑크톤 분포를 비교하고 미세생물먹이망을 비교한다.	100	황해의 하계수역에 안안혼합수역, 조석전선수역, 성층수역이 형성되고 이에 따라 식물플랑크톤 생물량 구조와 종속영양미세생물먹이망 구조가 달라진다.
	2. <i>Sagitta enflata</i> 에 대한 분자 생물학적 유사도 분석 최종비교	90	<i>S. enflata</i> 개체군에 대한 CO ₁ 분석결과 세그롭의 개체군이 출현하였고 이는 대마난류군, 제주난류군, 황해난류군으로 구분되었다.
	3. <i>Synechococcus</i> 그룹 비교	100	동중국해와 황해에서 출현하는 <i>Synechococcus</i> 는 크게 대마난류군과 황해 동중국해군으로 구분되었다.
	4. 기후변화에 의한 수온 상승과 연안의 부영양화에 따른 황해 동식물플랑크톤 군집의 장기 상태변화 비교	100	황해의 경기만을 대상으로 분석한 결과 동식물플랑크톤의 phenology 현상이 일어나고, 수온 상승에 의한 동계 대증식, 동물플랑크톤의 4월 대증가가 일어나고, 부영양화에 따른 하계 대증식이 지속적으로 일어난다.

5. 연구결과의 활용계획

1) 추가연구의 필요성

쿠로시오 유래 황해난류수의 유입을 밝히기 위하여 쿠로시오 지표종 *Sagitta enflata*의 microsatellite primer 자료가 방대하여 시간부족과 예산 부족으로 CO₁ 분석으로 대체되었다. CO₁ 분석결과 동중국해-황해개체군이 추출되었으나 이것이 황해 난류 지표종으로서 의미를 갖을 수 있는지 좀더 계절적인 확인이 필요함. 현장조사의 한계로 제한된 조사해역의 조사로 황해 난류수역을 대표 할 수 있는 수괴 지표종의 시공간적 분포를 추후에 확인할 필요가 있음.

2) 타 연구에 응용

본 연구를 통하여 밝혀진 난류수종의 분포와 생태적 특성을 기반으로 황해난류수의 존재를 물리학적으로 재평가 할 필요가 있으며, 황해수괴의 시공간적 생태환경 변동을 이해하는데 응용할 수가 있을 것임

3) 기업화추진방안

해당상황없음

6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

황해와 동중국해의 수괴특성과 생태계 특성에 대한 관심은 우리나라 연구자들뿐만 중국의 연구자들에게 특히 관심을 끌고 있다. 중국은 2000년대부터 황해 생태계를 종합적으로 이해하기 위하여 중국 GLOBEC을 황해에서 중국과학원과 황해수산연구소가 중심이 되어 수행하고 있으며, 이를 바탕으로 수산자원 추정 및 수산자원 관리에 대한 정책을 수립하고 있다. 황해의 수괴 유동에 대한 중국과학원과 제 1 해양연구소(FIO) 간의 경쟁이 치열하며, 미세 생물먹이망에 대한 연구도 본격적으로 시작되고 있다. 동중국해에 대한 연구는 중국 제 2해양연구소(SIO), 중국 샤먼 대학, 중국 해양 연구소 등이 관심을 가지고 연구하고 있고, 일본에서도 나가사키 대학, 나고야 대학 등이 관심을 가지고 연구를 집중하고 있다.

Ⅲ. 연구성과

1. Lee, Y.J., Choi, J.K., Shon, J.K., 2012. Phytoplankton Distribution in the Eastern Part of the Yellow Sea by the Formation of Tidal Front and Upwelling during Summer. Ocean Polar Res. 34(2), 111-123.
2. 현재 2편을 SCI 논문집에 제출 검토정중에 있음
3. 그 외 SCI 논문에 2편을 준비중에 있음